TGL-15-98

โครงการฉลากเขียว

ข้อกำหนดฉลากเขียว
สำหรับมอเตอร์
(Motors)

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว
สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

โครงการฉลากเขียว

ข้อกำหนดของมอเตอร์

(Motors)

คณะกรรมการโครงการฉลากเขียว

อนุมัติ

7 ตุลาคม 2541

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ฉลากเขียว (green label หรือ eco-label)

"ฉลากเขียว" คือ ฉลากที่ให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน

ข้อดีของการมีฉลากเขียวติดอยู่บนผลิตภัณฑ์ก็คือ ใช้เป็นเครื่องหมายให้กับผู้บริโภคทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้นเน้นคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม ผู้บริโภคจะได้เลือกซื้อถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ในส่วนผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายจะได้รับผลประโยชน์ในแง่กำไรเนื่องจากมีการบริโภคผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมากขึ้น ผลักดันให้ผู้ผลิตรายอื่นๆ ต้องแข่งขันกันปรับปรุงคุณภาพของสินค้าหรือบริการของตนในด้านเทคโนโลยีโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการยอมรับของประชาชนและส่งผลตอบแทนทางเศรษฐกิจแก่ผู้ผลิตเองในระยะยาว ฉลากเขียวจึงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ช่วยป้องกันรักษาธรรมชาติผ่านทางการผลิตและการบริโภคของประชาชน

โครงการฉลากเขียวของประเทศไทย

ฉลากเขียวเริ่มใช้เป็นครั้งแรกในประเทศเยอรมันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 และได้รับการตอบสนองจากผู้บริโภคชาวเยอรมันเป็นอย่างดี ปัจจุบันประเทศต่าง ๆ มากกว่า 20 ประเทศได้มีการจัดทำโครงการฉลากเขียว

สำหรับประเทศไทยคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมไทย (Thailand Business Council for Sustainable Development, TBCSD) ได้ริเริ่มโครงการฉลากเขียว เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2536 และได้รับความเห็นชอบและความร่วมมือจากกระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และองค์กรเอกชนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ให้ปฏิบัติออกมาเป็นรูปธรรม จึงนับว่าเป็นโครงการที่เกิดจากการร่วมมือระหว่างภาครัฐบาล เอกชน และองค์กรกลางต่าง ๆ โดยมีสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยทำหน้าที่เป็นเลขานุการ

หลักการในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์

- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคทั่วไปในชีวิตประจำวัน
- คำนึงถึงผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และคุณประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมที่ได้รับเมื่อผลิตภัณฑ์นั้นถูกจำหน่ายออกสู่ตลาด
- มีวิธีการตรวจสอบที่ไม่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง ในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางสิ่งแวดล้อมตามที่กำหนดไว้ในข้อกำหนด
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตมีทางเลือกอื่นในการผลิตที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

ผลิตภัณฑ์ฉลากเขียว

ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการคัดเลือกให้ออกข้อกำหนดสำหรับขอรับฉลากเขียว ได้แก่

- กระดาษ
- หลอดฟลูออเรสเซนซ์
- ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปทำจากพลาสติกที่ใช้แล้ว
- คอมพิวเตอร์
- เครื่องซักผ้า
- ฉนวนกันความร้อน

- ตู้เย็น
- สีอิมัลชัน
- เครื่องสุขภัณฑ์
- เครื่องปรับอากาศ
- ถ่านไฟฉาย
- สารซักฟอก
- สเปรย์
- มอเตอร์
- ก๊อกน้ำและอุปกรณ์ต่างๆ
- ผลิตภัณฑ์ทำจากผ้า
- วัสดุก่อสร้างที่ใช้ทดแทนไม้
- บริการประเภทซักแห้งและซักอบรีด
- น้ำมันหล่อลื่น
- แชมพู
- ผลิตภัณฑ์ล้างจาน
- เครื่องเรือนไม้ยางพารา
- เครื่องเรือนเหล็ก
- บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
- เครื่องถ่ายเอกสาร
- บรรจุภัณฑ์ที่นำกลับมาเติมหรือใช้ใหม่ได้
- ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด
- สบู่

ปัจจัยที่ใช้พิจารณาเพื่อออกข้อกำหนด

ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดขึ้น จะแตกต่างไปตามประเภทของผลิตภัณฑ์และความเสียหายของสิ่งแวดล้อมในแง่มุมต่าง ๆ ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยทั่วไปจะคำนึงถึง

- การจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ (renewable resources) และที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ไหม่ (nonrenewable resources)
- การลดภาวะมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศ โดยส่งเสริมให้มีการผลิต การขนส่ง การบริโภค และการกำจัดทิ้งหลังใช้แล้วอย่างมีประสิทธิภาพ
- การนำขยะมูลฝอยทั่วไปและขยะอันตรายกลับมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น (reuse) หรือแปรรูปใช้ใหม่ (recycle)

การสมัครขอใช้ฉลากเขียว

การขอใช้ฉลากเขียวเป็นความสมัครใจของผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย หรือผู้ให้บริการที่ต้องการแสดงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีกฎหมายบังคับ ผู้ประสงค์จะสมัครขอใช้ฉลากเขียว สามารถขอรับเอกสารเพื่อกรอกข้อความได้ที่สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและเสียค่าสมัคร 1,000 บาท ในแต่ละรุ่น หรือแบบ หรือเครื่องหมายการค้า สถาบันฯ และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจะตรวจสอบเอกสารและหลักฐาน และจัดทำสัญญาอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายรับรองฉลากเขียวในการโฆษณาและติดที่ผลิตภัณฑ์เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านการตรวจสอบตามข้อกำหนดแล้ว ผู้สมัครจะต้องเสียค่าธรรมเนียมการใช้ฉลากเขียวเป็นจำนวนเงิน 5,000 บาท ในแต่ละรุ่น หรือแบบ หรือเครื่องหมายการค้า โดยสัญญามีอายุไม่เกิน 3 ปี

ถ้าท่านมีข้อสงสัยเกี่ยวกับฉลากเขียวสามารถติดต่อสอบถามได้ที่ :
สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
124 ซอยสามภพนฤมิตร สุขุมวิท 62 พระโขนง กรุงเทพฯ 10250
โทรศัพท์ 741-6350-7 ต่อ 206, 208, 301

คณะอนุกรรมการเทคนิคคณะที่ 11
โครงการฉลากเขียว
มอเตอร์

ประธานอนุกรรมการ

ผศ. ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุกรรมการ

ดร. วิระวรรณ สมบัติศิริ	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
นายนภดล สฤษดิศุข	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
นายสมชาย โรจน์รุ่งวศินกุล	การไฟฟ้านครหลวง
ดร. พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ	คณะกรรมการเทคโนโลยี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
ดร. สุทิน เวทย์วัฒนะ	บริษัท ไทยโตชิบาอุตสาหกรรม จำกัด
นายศิริโชติ สิงห์ษา	บริษัท เอบีบี อินดัสทรี จำกัด
นายประสงค์ กำธรทักษณา	บริษัท สยามอีลินมอเตอร์ จำกัด
นายสุเมธ บุญธนากร	บริษัท ศรีอู่ทอง จำกัด
นายศิริชัย คันธมาส	ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

อนุกรรมการและเลขานุการ

ดร. พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
นางสาวปารินดา สุขสบาย	

ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับมอเตอร์

จัดทำโดย

คณะอนุกรรมการเทคนิคคณะที่ 11

โครงการฉลากเขียว

---

1. เหตุผล

ผลกระทบหลักของมอเตอร์ต่อสิ่งแวดล้อม คือการเกิดมลพิษในระหว่างการผลิตและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานต่ำ เนื่องจากมอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในกระบวนการผลิตไฟฟ้านั้นต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นปัจจัยหลักและมีก๊าซและสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตเกิดขึ้น เช่น ฝุ่นละออง เขม่า กากขี้เถ้า น้ำทิ้ง โลหะหนัก ซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการควบคุมและป้องกันที่เหมาะสมแล้วจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน เกิดปัญหามลพิษทางน้ำและอากาศ ตลอดจนการหมดสิ้นไปของทรัพยากรพลังงานธรรมชาติในที่สุด

มอเตอร์ที่ได้รับฉลากเขียว ต้องเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูง และไม่ใช้สีพ่นที่มีอนุภาคโลหะหนักเป็นส่วนประกอบซึ่งจะช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมลง นอกจากยังสนับสนุนให้ผู้ผลิตมอเตอร์นำวัตถุดิบและเศษวัสดุกลับมาแปรรูปใช้ใหม่ (recycle) เพื่อลดการเกิดมูลฝอย

2. ขอบเขต

มอเตอร์ ในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกที่กำหนดไม่เกิน 375 กิโลวัตต์ หรือ 500 แรงม้า และมีแรงดันไฟฟ้าที่ระบุไม่เกิน 1,000 โวลต์

3. บทนิยาม

บทนิยามอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มาตรฐานเลขที่ มอก. 867-2532

มอเตอร์ (motor) หมายถึง เครื่องต้นกำลังทางกลที่แปรรูปมาจากพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

พิกัด (rating) หมายถึง ค่าตัวเลขของปริมาณทางไฟฟ้าและทางกลทั้งหมดและระบุไว้บนแผ่นพิกัด และมอเตอร์เป็นไปตามภาวะที่ระบุเหล่านั้น

ค่าที่กำหนด (rated value) หมายถึง ค่าตัวเลขของปริมาณที่อยู่ในพิกัด

กำลังออกที่กำหนด (rated output) หมายถึง ค่าตัวเลขของกำลังออกที่รวมอยู่ในพิกัด

โหลด (load) หมายถึง ค่าที่เป็นตัวเลขของปริมาณทางกลทั้งหมดที่กระทำกับมอเตอร์ที่ขณะใดขณะหนึ่ง

ไม่มีโหลด (no-load) หมายถึง สถานะของมอเตอร์ที่หมุนที่ความเร็วปกติในภาวะที่กำหนด แต่ไม่ต้องการนำกำลังออกไปใช้

รุ่น (lot) หมายถึง มอเตอร์แบบเดียวกัน แบบชนิดของหน้าที่เหมือนกัน กำลังออกที่กำหนดเท่ากัน จากโรงงานเดียวกัน ที่ทำหรือซื้อขายหรือส่งมอบในระยะเวลาเดียวกัน

4. ข้อกำหนดทั่วไป

4.1 ต้องได้การรับรองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มาตรฐานเลขที่ มอก. 867 หรือ มาตรฐานระหว่างประเทศหรือระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ เช่น IEC, NEMA, JIS หรือ ผ่านการทดสอบตามวิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานดังกล่าว ยกเว้นรายการประสิทธิภาพการใช้งานซึ่งจะกำหนดในข้อ 5.1

4.2 กระบวนการผลิต การขนส่ง และการกำจัดของเสียหลังใช้ผลิตภัณฑ์ ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของราชการ ตัวอย่างเช่น พระราชบัญญัติโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

5. ข้อกำหนดพิเศษ

5.1 ต้องมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานตามพิกัดกำลังและความเร็วรอบ ไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในตารางที่ 1 โดยวิธีทดสอบกำหนดในข้อ 6.2

5.2 มีนโยบายและแผนงานในการใช้วัตถุดิบและเศษวัสดุที่สามารถนำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่ (recycle) ได้

5.3 สีที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ต้องไม่มีอนุภาคของโลหะหนัก ได้แก่ ปรอทหรือส่วนประกอบของปรอท ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม หรือ ออกไซด์ของตะกั่ว แคดเมียม หรือ โครเมียม

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

ขนาดของมอเตอร์		2 ขั้ว	4 ขั้ว	6 ขั้ว	8 ขั้ว
แรงม้า (hp)	กิโลวัตต์ (kW)	(~3,000 rpm)	(~1,500rpm)	(~1,000 rpm)	(~750 rpm)
1.0	0.75	75.5	82.5	80.0	74.0
1.5	1.1	82.5	84.0	85.5	77.0
2.0	1.5	84.0	84.0	86.5	82.5
3.0	2.2	85.5	87.5	87.5	84.0
5.0	3.7-4.0	87.5	87.5	87.5	85.5
7.5	5.5	88.5	89.5	89.5	85.5
10.0	7.5	89.5	89.5	89.5	88.5
15.0	11.0	90.2	91.0	90.2	88.5
20.0	15.0	90.2	91.0	90.2	89.5
25.0	18.5	91.0	92.4	91.7	89.5
30.0	22.0	91.0	92.4	91.7	91.0
40.0	30.0	91.7	93.0	93.0	91.0
50.0	37.0	92.4	93.0	93.0	91.7
60.0	45.0	93.0	93.6	93.6	91.7
75.0	55.0	93.0	94.1	93.6	93.0
100.0	75.0	93.6	94.5	94.1	93.0
125.0	90.0	94.5	94.5	94.1	93.6
150.0	110.0	94.5	95.0	95.0	93.6
200.0	150.0-160.0	95.0	95.0	95.0	94.1
250.0	185.0-200.0	95.4	95.0	95.0	94.5
300.0	220.0-250.0	95.4	95.4	95.4	95.4
400.0	300.0-315.0	95.4	95.4	95.4	95.4
500.0	355.0-400.0	95.4	95.8	95.4	94.5

6. วิธีทดสอบ

6.1 ผู้ผลิตต้องยื่นหนังสือ หรือผลการทดสอบ ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 4.1 แก่เจ้าหน้าที่โครงการฉลากเขียว

6.2 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของมอเตอร์ ให้ทดสอบตามวิธีทดสอบที่กำหนดใน IEEE-112 (test method B) และให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนการชักตัวอย่าง

จำนวนเครื่องต่อรุ่น	จำนวนตัวอย่างต่อรุ่น	เกณฑ์จำนวนไม่ผ่านที่ยอมรับ
น้อยกว่า 5	ทั้งหมด	0
5 ถึง 150	5	0
151 ถึง 500	20	1
501 ถึง 1,200	32	2
1,201 ถึง 3,200	50	3
เกิน 3,200	80	5

6.3 ผู้ผลิตต้องแสดงหลักฐานเรื่องนโยบายและแผนงานของบริษัทในการใช้วัตถุดิบและเศษวัสดุที่สามารถนำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่ได้ และลงนามรับรองโดยกรรมการผู้จัดการบริษัท ฯ

6.4 ผู้ผลิตต้องแสดงหลักฐานว่าสีที่นำมาใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ไม่มีอนุภาคของโลหะหนัก หลักฐานดังกล่าว ได้แก่ หนังสือรับรองจากบริษัทผู้ผลิตสีที่ลงนามรับรองโดยกรรมการผู้จัดการของบริษัท หรือผลการวิเคราะห์โลหะหนักตามวิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานระดับประเทศที่เชื่อถือได้

หมายเหตุ ผู้ผลิตสามารถนำผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการดังต่อไปนี้ มายื่นต่อเจ้าหน้าที่โครงการฉลากเขียว

1) ในกรณีที่บริษัทผู้ผลิตมอเตอร์ทดสอบเอง จะต้องมีเจ้าหน้าที่จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป็นผู้ควบคุมการทดสอบและรับรอง หรือ

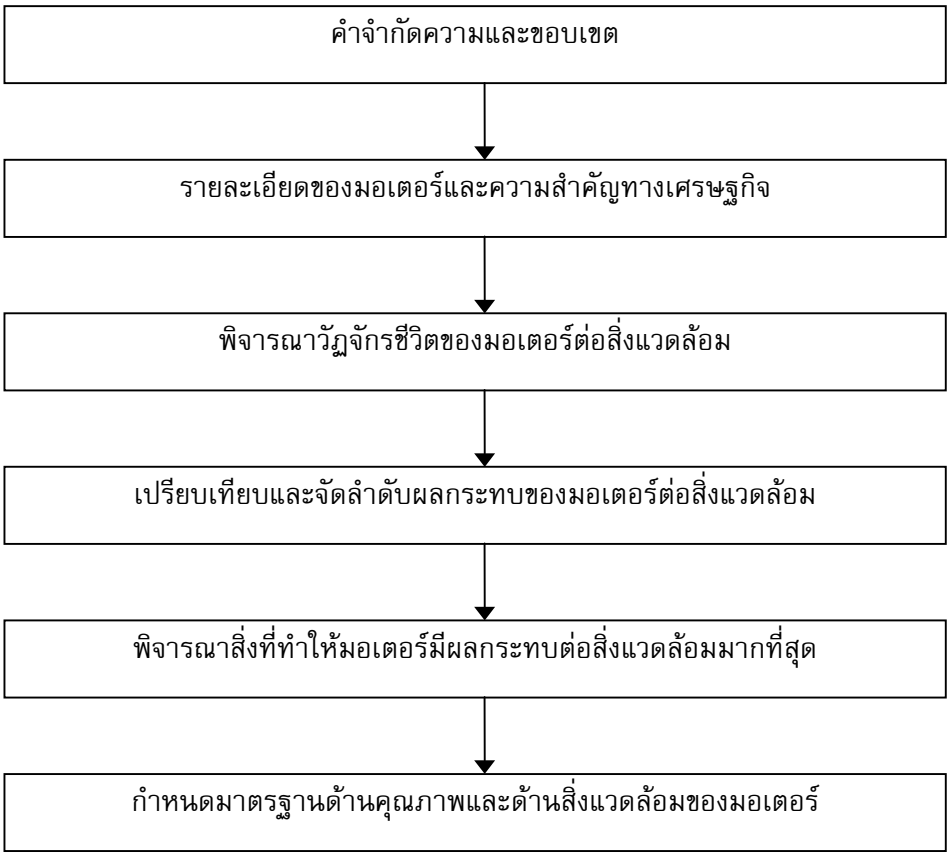
2) ทดสอบโดยหน่วยงานของรัฐบาล เช่น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย หรือ

3) ห้องปฏิบัติการเอกชนอิสระ หรือ สถาบันการศึกษา ที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและห้องปฏิบัติการทดสอบ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1300 (ISO/IEC GUIDE 25) หรือ

4) ได้รับการรับรองมาตรฐานจากสถาบันต่างประเทศที่เชื่อถือได้

ภาคผนวก

1. ขั้นตอนการร่างข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับมอเตอร์



2. รายละเอียดของมอเตอร์และความสำคัญทางเศรษฐกิจ

2.1 ประเภทของมอเตอร์

โดยทั่วไป มอเตอร์ที่ใช้ในงานปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะระบบไฟฟ้าของแหล่งจ่าย หลักการหมุน และโครงสร้าง ได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current motors: AC motors) เป็นมอเตอร์ที่ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดของมอเตอร์ไหลกลับไปมาตลอดเวลา สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามความสำคัญและสัดส่วนของการใช้งาน ได้ดังนี้
   1.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ (induction motors)
      1.1.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (single-phase introduction motors) แบ่งเป็น
         - เริ่มเดินเครื่องด้วยการแยกเฟส (split-phase start)
         - แบบเริ่มเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ เดินเครื่องด้วยการเหนี่ยวนำ (capacitor start induction run)
         - แบบเริ่มเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ เดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ (capacitor start capacitor run)
         - แบบเริ่มเดินและเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ (capacitor start and run)
         - แบบรีพัลชัน (repulsion start)
      1.1.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (three-phase induction motors) แบ่งเป็น
         - แบบกรงกระรอก (squirrel-cage) แบ่งออกเป็นชนิด single speed, two speed และ three speed
         - แบบโรเตอร์พันลวด (wound-rotor) แบ่งออกเป็นชนิด slip ring และ commutator
   1.2 มอเตอร์ซิงโครนัส (synchronous motors)
   1.3 มอเตอร์สเต็ปปิง (stepping motors)
   1.4 มอเตอร์แบบมีคอมมิวเทเตอร์ (commutator motors)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (direct current motors: DC motors)
   2.1 มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กขนาน (shunt motors)
   2.2 มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กอนุกรม (series motors)
   2.3 มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กผสม (compound motors)

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย เพราะมีความแข็งแรงทนทาน ราคาถูก ประสิทธิภาพสูง ความแน่นอนในการใช้งานสูง และบำรุงรักษาสะอาดได้ง่าย ในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมเกือบทั้งหมดใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นต้นกำลังกล ขนาดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะมีขนาดตั้งแต่ต่ำกว่า 1 แรงม้าที่แรงดันต่ำ (110-660 โวลต์) จนกระทั่งถึงหลายพันแรงม้าที่แรงดันสูง (3.0 กิโลโวลต์ หรือสูงกว่า)

2.2 วัตถุดิบ

ในระยะแรกที่เริ่มทำการผลิตต้องนำเข้าชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้าจากต่างประเทศแทบทั้งสิ้น ต่อมาจึงเริ่มมีการใช้วัตถุดิบและชิ้นส่วนประกอบบางชิ้นที่ผลิตขึ้นได้ภายในประเทศ เช่น ลวดทองแดง ปัจจุบันมีการใช้วัตถุดิบและชิ้นส่วนประกอบในประเทศมูลค่าประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณวัตถุดิบและชิ้นส่วนประกอบทั้งหมด วัตถุดิบและชิ้นส่วนประกอบสำคัญที่นำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่

- แผ่นเหล็กซิลิคอน (silicon steel sheet)
- เหล็กเพลา (steel bar)
- อะลูมิเนียมแท่ง (aluminium ingot)
- ฉนวน (insulation)
- ตลับลูกปืน (bearing)
- ตัวเก็บประจุ (capacitor)
- สวิตช์ตัวต่อแบบแรงเหวี่ยง (centrifugal switch) ประกอบด้วยส่วนอยู่กับที่หรือคอนแท็ก (stationary parts) และตัวหมุน (movable parts)
- น้ำยาเคลือบ (varnish and varnish tube)
- แผ่นไฟเบอร์ (fiber sheet)
- สายไฟฟ้าตัวนำ (lead wire)

สำหรับวัตถุดิบและชิ้นส่วนประกอบที่ผลิตในประเทศมีอยู่หลายอย่าง ได้แก่

- ลวดทองแดง (copper wire)
- แผ่นเหล็ก (steel sheet)
- ชิ้นส่วนย่อย (stationary parts and movable parts) ผู้ผลิตบางรายใช้ของในประเทศ
- เหล็กหล่อชิ้นส่วนต่างๆ
- ภาชนะบรรจุกระดาษ (carton box) หรือลังไม้ (wooden case)
- สกรู/น๊อตขนาดต่างๆ
- สีพ่น, ทินเนอร์

วัตถุดิบภายในส่วนใหญ่จะซื้อจากผู้ผลิตในประเทศ แต่วัตถุดิบบางชนิดสามารถทำได้เองในโรงงานของผู้ผลิต

2.3 โครงสร้างและการทำงานพื้นฐาน

มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การหมุนของมอเตอร์เกิดจากแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic field) 2 ชุด คือที่สเตเตอร์ (stator) และโรเตอร์ (rotor) พยายามที่จะจัดเส้นแรงแม่เหล็กให้อยู่ในแนวเดียวกัน การที่สนามแม่เหล็กทั้ง 2 ชุดกระทำลักษณะดังกล่าว ทำให้มอเตอร์หมุนได้และยิ่งมุมที่แตกต่างกันของแนวแกนของสนามแม่เหล็กทั้งที่สเตเตอร์และโรเตอร์รวมทั้งความเข้มของสนามแม่เหล็กมีค่ามากเท่าไร ก็ยิ่งจะทำให้เกิดแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทำให้แนวของสนามแม่เหล็กทั้ง 2 ชุดเคลื่อนเข้าหากันมากขึ้นเท่านั้น ผลลัพธ์ของแรงกระทำอันนี้คือ แรงบิดของมอเตอร์หรือทอร์ก (torque)

โดยปกติแล้วสนามแม่เหล็กในมอเตอร์แบบต่างๆ จะมีทั้งแบบที่หมุนไปรอบๆ ตัวของมอเตอร์และแบบที่หยุดนิ่งอยู่กับที่ ตัวอย่างแบบสนามแม่เหล็กหมุน ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก ส่วนแบบสนามหยุดนิ่ง ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างที่ง่าย แข็งแรงและไม่ต้องใช้แปรงถ่าน (carbon brush) มีการทำงานเกิดจากสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (core) ที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิ (primary winding) หมุน แล้วเหนี่ยวนำโรเตอร์ที่มีขดลวดทุติยภูมิ (secondary winding) ให้หมุนตาม หรือตัวนำในโรเตอร์เกิดจากสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ แต่เคลื่อนที่หมุนไปรอบๆ สเตเตอร์ สนามแม่เหล็กจะถูกส่งผ่านช่องอากาศ (air gap) มาเหนี่ยวนำตัวนำที่โรเตอร์ ทำให้เกิดแรงดัน กระแส และสนามแม่เหล็ก จากโรเตอร์ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เกิดจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนเข้าทางสเตเตอร์ สำหรับในระบบ 50 เฮิรตซ์ ที่ใช้กันในประเทศไทยจะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วที่ 750 1000 1,500 และ 3,000 รอบต่อนาที สำหรับมอเตอร์แบบ 8 6 4 และ 2 ขั้วตามลำดับเราเรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ (synchronous speed)

2.4 กรรมวิธีผลิต

การผลิตมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีการใช้วัตถุดิบและส่วนประกอบทั้งจากต่างประเทศและในประเทศ โดยจะนำส่วนที่เป็นวัตถุดิบมาแปรสภาพให้เป็นส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเสียก่อน เช่น แผ่นเหล็กซิลิคอน จะถูกนำมาตัดเป็นแผ่นๆ ตามรูปร่างและขนาดของสเตเตอร์และโรเตอร์ แล้วนำมาประกอบเป็นตัวสเตเตอร์และโรเตอร์ ตัวโรเตอร์อาศัยอะลูมิเนียมเป็นตัวยึดให้แต่ละแผ่นติดกัน หรือใช้ทองแดงแทนในมอเตอร์ขนาดใหญ่หรือมอเตอร์ความเร็วสูง จากนั้นนำชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ สเตเตอร์ โรเตอร์ คอยล์ เฟรม (frame) และชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ มาประกอบเข้าเป็นตัวมอเตอร์ไฟฟ้า (รูปที่ 1, 2 และ 3) ในแต่ละขั้นตอนการผลิตจะมีการตรวจสอบมิติและสมบัติทางกล เมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อยจะนำไปตรวจสอบทางไฟฟ้าและการทำงานเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด

ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยพนักงานที่ทำชิ้นส่วนนั้น
2. สุ่มตัวอย่างชิ้นส่วนขึ้นมาตรวจสอบ โดยเจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
3. ตรวจสอบมอเตอร์สำเร็จรูปที่ผลิตเรียบร้อยแล้ว โดยเจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ

มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้น แต่ละโรงงานใช้มาตรฐานตามบริษัทที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิค ซึ่งอาจเป็นมาตรฐานตามแบบของ JIS (Japanese Industrial Standard) หรือ IEC (International Electrotechnical Commission) หรือ NEMA (National Electrical Manufactures Association) สำหรับประเทศไทยมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (มอก 866-2532) และมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (มอก. 867-2532)

2.5 ลักษณะทั่วไปและการประยุกต์ใช้งาน

ลักษณะทั่วไปและการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ซิงโครนัส มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแสดงในตารางที่ 3-6

2.6 อุตสาหกรรมมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องต้นกำลังที่ความต้องการใช้งานมีเพิ่มสูงมากขึ้นทั้งทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม แต่เดิมมอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไปต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น เมื่อปี พ.ศ. 2515 บริษัท ไทยโตชิบาอุตสาหกรรม จำกัด เป็นบริษัทแรกที่ขอรับการส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน เพื่อผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าออกจำหน่าย ต่อมาได้มีผู้สนใจจัดตั้งโรงงานผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกหลายราย

จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ในปี 2534 มีผู้ได้รับการส่งเสริมการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำ จำนวน 8 ราย (ตารางที่ 7) มีกำลังผลิตรวมทั้งสิ้น 1,307,500 เครื่องต่อปี และจากสถิติกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ในปี 2538 มีผู้ผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าในประเทศ 20 ราย เป็นผู้ที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุน 6 ราย ซึ่งมีกำลังการผลิต 2.5 ล้านเครื่องต่อปี หรือประมาณร้อยละ 80 ของกำลังการผลิตรวมของทั้งประเทศ ปัจจุบันการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าในประเทศสามารถสนองความต้องการของตลาดในประเทศไทยได้เกือบทั้งหมด ขณะเดียวกันผู้ผลิตเริ่มให้ความสำคัญต่อการผลิตเพื่อส่งออกเพิ่มขึ้น

2.6.1 การผลิตและการจำหน่าย

ในระยะแรกมอเตอร์ไฟฟ้าที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก มีขนาดแรงม้าตั้งแต่ ¼ แรงม้า ถึง 3 แรงม้า เนื่องจากมีความต้องการมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กสูงมาก ต่อมามีผู้ผลิตบางรายได้ผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดอื่นๆ ออกมาจำหน่ายเพิ่มขึ้น สถาบันนานาชาติเพื่อการประหยัดพลังงาน (IIEC) รายงานว่า ในปี 2534 มีการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าในประเทศไทย 990,000 เครื่อง ซึ่งมีมูลค่า ประมาณ 1 พันล้านบาท แต่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก (กำลังน้อยกว่า 1 แรงม้า) เสียส่วนใหญ่

การผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าในปี 2538 มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปีก่อน ตามการขยายตัวของภาวะเศรษฐกิจและการส่งออก จากการสอบถามผู้ได้รับส่งเสริมการลงทุนรายใหญ่ 4 ราย ซึ่งมีกำลังผลิตรวม 1.5 ล้านเครื่องต่อปี หรือร้อยละ 60 ของกำลังผลิตรวมทั้งประเทศ ในปี 2538 ผลิตมอเตอร์ไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 1.27 ล้านเครื่อง เพิ่มจากปีก่อนร้อยละ 25.7 โดยจำหน่ายในประเทศ 1.09 ล้านเครื่อง เพิ่มขึ้นร้อยละ 15.2 เนื่องจากความต้องการในประเทศเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของภาวะเศรษฐกิจ ในขณะที่การจำหน่ายในประเทศชะลอตัวลงจากปีก่อนเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในอัตราสูง เนื่องจากมีภาวะการแข่งขันกันมาก ตารางที่ 8 และ 9 แสดงปริมาณการผลิตและการจำหน่ายมอเตอร์ไฟฟ้า

2.6.2 การนำเข้าและการส่งออก

ปี 2536 มีการนำเข้ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหลายเฟส (AC multiphase motor) 732,900 ตัว รวมมูลค่า 727.6 ล้านบาท และมีมูลค่าการส่งออกถึง 370.9 ล้านบาท (ตารางที่ 9)

จากข้อมูลการส่งออกของผู้ผลิต 3 ราย ปรากฏว่าในปี 2538 มีการส่งออกมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 50.5 เร่งตัวขึ้นมากเมื่อเทียบกับปีก่อนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 35.8 เนื่องจากผู้ผลิตได้มีการพัฒนาทั้งรูปแบบและคุณภาพของสินค้าให้ได้มาตรฐานอย่างต่อเนื่องจนเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศ รวมทั้งการขยายกำลังการผลิตเพื่อส่งออกมากขึ้น โดยตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น ฮ่องกง เวียดนาม ไต้หวัน และประเทศในกลุ่มอาเซียน

ส่วนปี 2539 พบว่าปริมาณการส่งออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวสูงถึง 2,492,179 เครื่อง โดยมีมูลค่า 284,525,235 บาท (ตารางที่ 10) ส่วนปริมาณการนำเข้ามีจำนวน 1,444,001 เครื่อง โดยมีมูลค่า 580,170,479 บาท (ตารางที่ 11) นอกจากนี้ยังมีการส่งออกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกไม่เกิน 750 วัตต์ มีปริมาณการส่งออก 177,611 เครื่อง คิดเป็นมูลค่า 103,656,613 บาท (ตารางที่ 12) และมีปริมาณการนำเข้าสูงถึง 4,578,503 เครื่อง ส่วนใหญ่จากสิงคโปร์และจีน คิดเป็นมูลค่า 643,121,831 บาท (ตารางที่ 13) สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกมากกว่า 750 วัตต์แต่ไม่เกิน 75 กิโลวัตต์ จำนวน1,208 เครื่อง คิดเป็นมูลค่า 3,533,719 บาท (ตารางที่ 14)

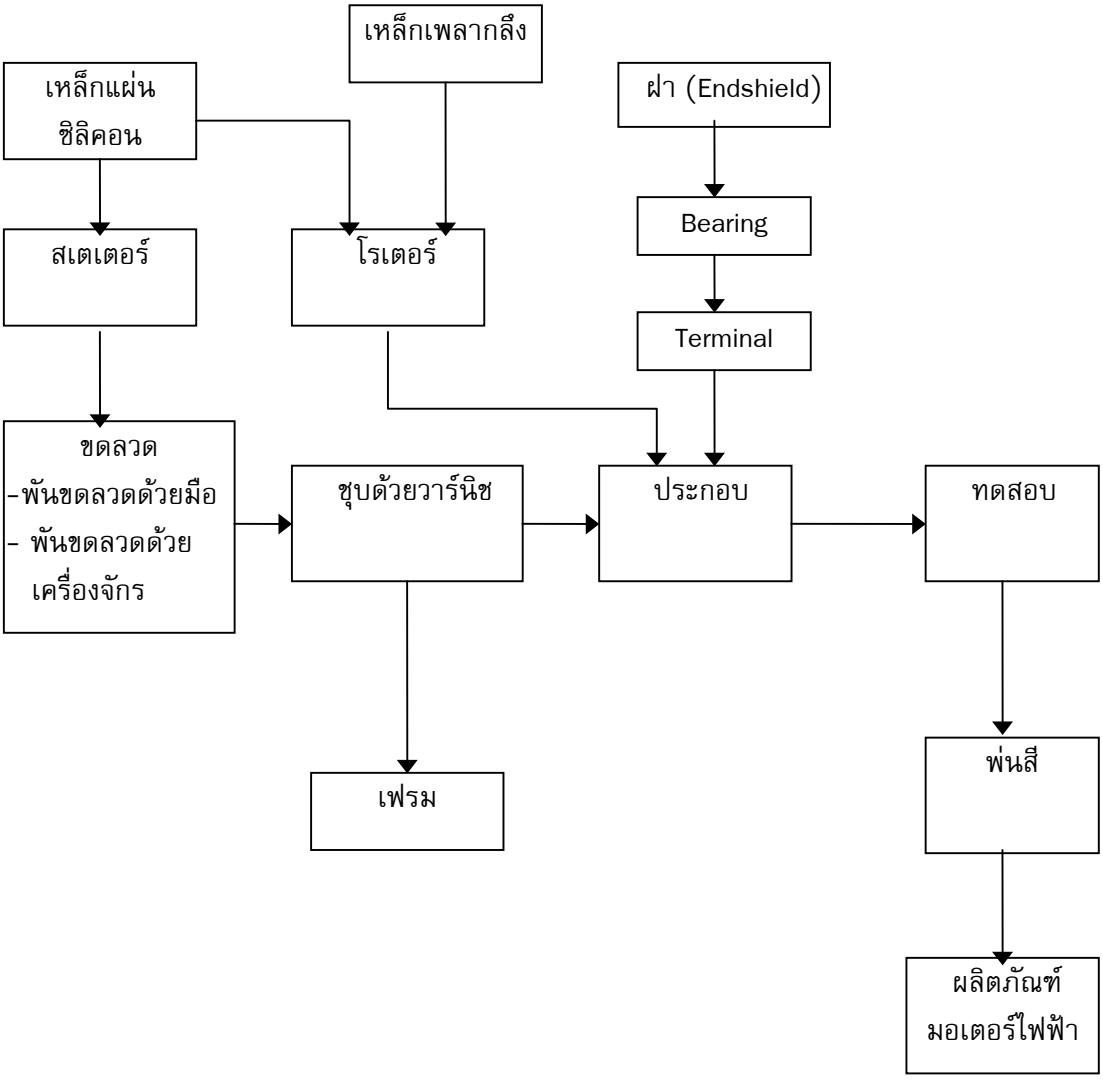
ส่วนปริมาณการนำเข้ามีจำนวน 127,112 เครื่อง คิดเป็นมูลค่า 736,512,122 บาท (ตารางที่ 15) สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกมากกว่า 75 กิโลวัตต์ มีปริมาณการส่งออก 260 เครื่อง คิดเป็นมูลค่า 2,365,937 บาท (ตารางที่ 16) และมีปริมาณการนำเข้าสูงถึง 125,302 เครื่อง มีมูลค่า 250,409,836 บาท (ตารางที่ 17)

สำหรับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย และที่นำเข้าส่วนใหญ่จะมาจากยุโรปและอเมริกา และมีเพียงร้อยละ 5 ของมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่นำเข้า

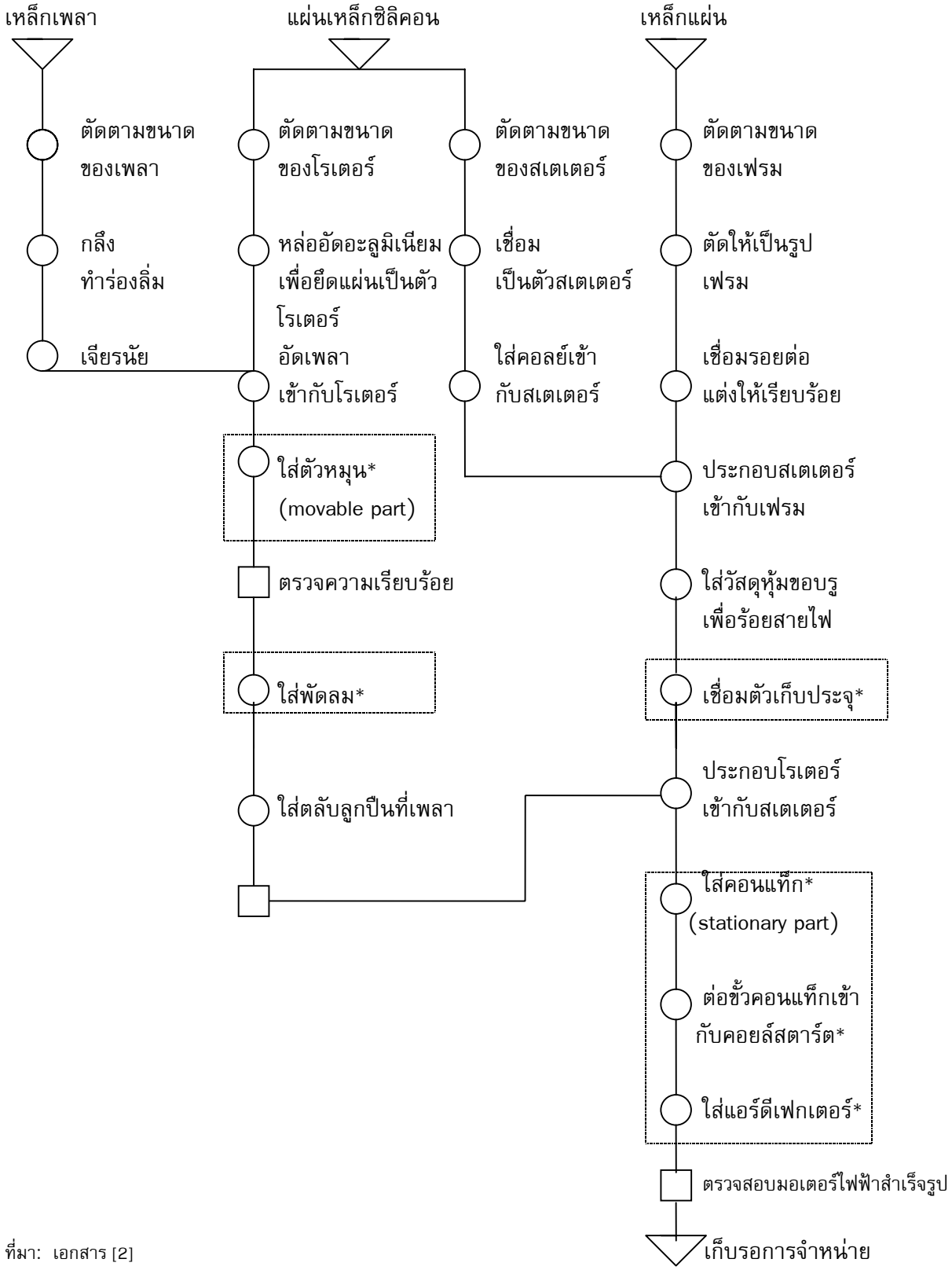
2.6.3 แนวโน้มของตลาดในอนาคต

การผลิตมอเตอร์ไฟฟ้ามีแนวโน้มขยายกำลังการผลิต เพื่อรองรับความต้องการของตลาดในประเทศที่จะยังคงเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมใหม่ในส่วนภูมิภาค รวมทั้งโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็คทรอนิกส์ ตลอดจนการผลิตเพื่อส่งออกยังเติบโตในเกณฑ์ดี

รูปที่ 1 กระบวนการผลิตมอเตอร์โดยทั่วไป



รูปที่ 2 แผนผังการผลิตมอเตอร์เหนี่ยวนำ



ที่มา: เอกสาร [2]

หมายเหตุ: * เฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

รูปที่ 3 ตัวอย่างการผลิตมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

ที่มา: บริษัทผู้ผลิต (กค. 2540)

ตารางที่ 3 ลักษณะทั่วไปและการประยุกต์ใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ชนิด	ทอร์กขณะเริ่มเดินเครื่อง (%)	ทอร์กสูงสุดขณะเดินเครื่อง (%)	ความเร็วรอบ (%)	การควบคุมความเร็วรอบ (%)	การประยุกต์ใช้งานและข้อสังเกตทั่วไป
Shunt, constant speed	Medium-usually limited to less than 250 by a starting resistor but may be increased	Usually limited to about 200 by commutation	5-10	Increase up to 200 by field control; decrease by armature-voltage control	Essentially for constant-speed applications requiring medium starting torque. May be used for adjustable speed not greater than 2:1 range. For centrifucal pumps, fans, blowers, conveyors, woodworking machines, machine tools, printing presses
Shunt, adjustable speed	Same as preceding	Same as preceding	10-15	6:1 range by field control, lowered below base speed by armature-voltage control	Same as above ,for applications requiring adjustable speed control,either constant torque or constant output
Compound	High-up to 450, depending upon degree of compounding	Higher than shunt-up to 350	Varying, depending on degree of Compounding-up to 25-30	Not usually used but may be up to 125 by field control	For drives requiring high starting torque and only fairly consant speed;pulsating loads with flywheet action. For plunger pumps,shears,conveyors,crushers,bending rolls ,punch presses,hoists
Series	Very high-up to 500	Up to 400	Widely variable, high at no-load	By series rheostat	For drive requiring very high starting torque and where adjustable,varying speed is satisfactory. This motor is sometimes called the traction motor. Loads must be positively connected , not belted. For hoists, cranes, bridges,car dumpers. To prevent overspeed, lightest load should not be much less than 15 to 20% of full-load torque

ที่มา: เอกสาร [3]

ตารางที่ 4 ลักษณะทั่วไปและการประยุกต์ใช้งานของมอเตอร์ซิงโครนัส

ชนิดของการออกแบบ	มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดความเร็วสูง (สูงกว่า500 รอบต่อนาที)	มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดความเร็วต่ำ (ต่ำกว่า500 รอบต่อนาที)
Starting torque (% of normal)	Up to 120	low 40
Pull-in torque (% of normal)	100-125	30
Pull -out torque(%)	Up to 200	Up to 180
Starting current(%)	500-700	200-350
Slip	Zero	Zero
Power factor	High , but varies with load and with excitation	High, but varis with excitation
Efficiency(%)	Highest of all motors, 92-96	Highest of all motors, 92-96
Typical applications	Fans,blowers,degenerator,line shafts,centrifucal pumps and compressors, reciprocating pumps and compressor, Useful for power-factor correction. Constant speed. Frequency changers.	Lowed-speed direct-connected loads such as reciprocating compressors when started unloaded, degenerators,rolling mills,band mills,ball mills, pumps. Useful for power-factor control.Constant speed.Fly wheel used for pulsating loads.

ที่มา: เอกสาร [3]

ตารางที่ 5 ลักษณะทั่วไปและการประยุกต์ใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ชนิด	กำลังงาน (แรงม้า)	ทอร์กขณะเริ่มเดินเครื่อง* (%)	ทอร์กสูงสุด* (%)	กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินเครื่อง* (%)	สลิป (%)	ตัวประกอบกำลัง (%)	ประสิทธิภาพ (%)	การประยุกต์การใช้งาน
General-purpose, normal torque and starting current, NEMA class A	0.5-500	HP Poles torque 1.5 2 175 1.5 4 250 5.0 2 150 5.0 4 185 100 2 105 100 4 125 500 2 70 500 4 80	Up to 225 but not less than 200	500-1000	Low,3-5	High, 87-89	High, 87-89	Constant-speed loads where excessive starting torque is not needed and where high starting current is tolerated. Fans,blowers,centrifucal pumps,most machinery tool, woodworking tools,line shafting.Lowest in cost. May require reduced voltage starter. Not to be subjected to sustained overloads,because of heating.Has high maximum torque
General-purpose, normmal torque, low starting current, NEMA class B	0.5-500	Same as above	About the same as class About may be less	About 500-550,less than average of class A	3-5	A little lower than class A	87-89	Same as class A-advantage over Class A is lower starting current,but power factor slightly less
High torque,Low starting current, NEMA class C	3-200	200-250	190-225	About same as class B	3-7	Less than class A	82-84	Constant-speed loads requiring fairly high starting torque and lower starting current. Conveyors,compressors,crushers, agitators,reciprocating pumps.Maximum torque at standstill
High torque,medium and high slip,NEMA Class D	3-150	Medium slip 350 High slip 275-315	Usually same as standstill torque	Medium slip 400-800,high slip 300-500	Medium 7-11;high,12-16	Low	Low	Medium slip.Highest starting torque of all squirrel-cage motors.Used for high-inertia loads such as shears, punch presses,die stamping,bull-dozers, boilers.Has very high average accelerating torque. High slip used for elevators,hoists,and so on,on intermittent loads
Low starting torque, either normal starting current,NEMA Class E, or low starting current, NEMA Class F	40-200	Low,not less than 50	Low,but not less than 150	Normal 500-1000, low 300-500	1 to 3.5	About same as class A or Class B	About same as class A or Class B	Direct-connected loads of low inertia requiring low starting torque,such as fans and centrifucal pumps. Has high efficiency and low slip
Wound-rotor	0.5-5000	Up to 300	225-275	Depends upon external rotor resistance but may be as low as 150	3-50	High,with rotor shorted same as class A	High,with rotor shorted the same as class A,but low when used with rotor resistor for speed control	For high-starting-torque loads where very low starting current is required or where torque must be applied very gradually and where some speed control(50%) is needed. Fans, pumps, conveyors, hoists, cranes, compressors.Motor with speed control more expensive and may require maintenance.

หมายเหตุ: * ร้อยละของค่าโหลดเต็มพิกัด

ที่มา: เอกสาร [3]

ตารางที่ 6 ลักษณะทั่วไปและการประยุกต์ใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

ชนิด	ทอร์กขณะเริ่มเดินเครื่อง (%)	ราคาเปรียบเทียบโดยประมาณ (%)	เบรกดาวน์ ทอร์ก (%)	กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินเครื่อง ที่ 115 โวลต์	ตัวประกอบกำลัง (%)	ประสิทธิภาพ (%)	กำลังงาน (แรงม้า)	การประยุกต์ใช้งานและข้อสังเกตทั่วไป
General-purpose split-phase motor	90-200 Medium	85	185-250 Medium	23 1/4 hp	56-65	62-67	1/20 to 3/4	Fan,blowers,office appliances,food-preparation machine.Low-or medium-starting torque,low-inertia loads. Continuous-operation loads. May be reversed.
High-torque split - phase motor	200-275 High	65	Up to 350	32 High 1/4 hp	50-62	46-61	1/6 to 1/3	Washing machines,sump pumps,home workshops,oil burners.Medium-to high-starting torque loads.May be reversed
Permanent-split capacitor motor	60-75 Low	155	Up to 225	Medium	80-95	55-65	1/20 to3/4	Direct-connected fans,blowers,centrifucal pumps.Low-starting torque loads.Not for belt drives.May be reversed.
Permanent-split capacitor motor	Up to 200 Normal	155	260	-	80-95	55-65	1/6 to3/4	Belt-driven or direct-drive fans,blowers, centrifucal pumps,oil burners.Moderate-starting torque loads.May be reversed
Carpacitor-start general-purpose motor	Up to 435 Very high	100	Up to 400	-	80-95	55-65	1/8 to 3/4	Dual voltage. Compressors,stokers,conveyors, pumps.Belt-driven loads with high static friction.May be reversed.
Capacitor-start capacitor-run motor	380 High	190	Up to 260	_	80-95	55-65	1/8 to 3/4	Compressors,stokers,conveyors,pumps.High torque loads. High power factor.Speed may be regulated.
Shaded-pole motor	50	-	150	_	30-40	30-40	1/300 to 1/20	Fans,toys,Hair dryers,unit heaters. Desk fans. Low-starting torque loads.

ที่มา: เอกสาร [3]

ตารางที่ 7 ผู้ได้รับการส่งเสริมผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ผู้ได้รับการส่งเสริมการลงทุน	กำลังการผลิต (เครื่อง/ปี)	ขนาดที่ผลิต (แรงม้า)
1. บริษัท ไทยโตชิบาอุตสาหกรรม จำกัด	77,000	1/6-15
2. บริษัท บูรพาการไฟฟ้าอุตสาหกรรม จำกัด	76,000	1/4-10
3. บริษัท ยามาบิชิ อิเลคทริค จำกัด	86,000	1/20-3
4. บริษัท ฮิตาชิ อินดัสเตรียล เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด	210,000	น้อยกว่า 30
5. บริษัท กุลธรยูนิเวอร์แซลอีเล็คทริค จำกัด	240,000	1/200-1
6. Mr. Tatsuya Ogoshi	420,000	1/4-20
7. บริษัทสยามอีลีน มอเตอร์ จำกัด	105,500	1-1,000
8. บริษัทมางซู อิเลคทริค แมชชิน จำกัด	93,000	1/4-100
รวม	1,307,500	-

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ปี 2534 [4]

ตารางที่ 8 ปริมาณการผลิตและการจำหน่ายมอเตอร์เหนี่ยวนำ

หน่วย: เครื่อง

ปี	ปริมาณการผลิต	อัตราการเปลี่ยนแปลงจากปีก่อน (%)	ปริมาณการจำหน่าย	อัตราการเปลี่ยนแปลงจากปีก่อน (%)	การส่งออก	อัตราการเปลี่ยนแปลงจากปีก่อน (%)
2527	163,000	3.0	171,200	9.5	n.a	n.a
2528	157,000	-3.7	147,500	-13.8	n.a	n.a
2529	170,300	8.5	155.300	+5.3	n.a	n.a
2530	326,300	91.6	290,500	87.1	n.a	n.a
2531	403,200	23.6	358.900	23.5	n.a	n.a
2532	546,471	13.2	423,926	18.1	n.a	n.a
2533	624,107	36.7	583,962	37.8	57,700	18.3
2534	717,956	15.0	583,775	0	103,028	78.6
2535	787,858	9.7	747,396	28.0	59,375	-42.4
2536	893,899	13.5	783,662	4.9	87,828	47.0
2537	1,009,403	12.9	949,174	21.1	118.542	35.8
2538	1,269,053	25.7	1,093,918	15.2	178,545	50.5

หมายเหตุ: สอบถามจากผู้ประกอบการ 4 ราย ยกเว้นการส่งออกซึ่งสอบถามจากผู้ประกอบการ 3 ราย ที่มีการส่งออก

ที่มา: ธนาคารแห่งประเทศไทย [5]

ตารางที่ 9 สรุปภาวะการตลาดของมอเตอร์ไฟฟ้าในประเทศไทย

ปี	การผลิต		การนำเข้า		การส่งออก	
	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (ล้านบาท)
2531						
AC/DC<37.5 W	NA	NA	9,960,000	446,300	5,489,000	728.8
AC/DC>37.5 W	NA	NA	212,400	62.9	199,700	71.9
AC single-phase	NA	NA	212,500	105.7	27,200	12.0
AC multi-phase	NA	NA	227,300	439.4	15,310	5.49
DC motors	NA	NA	587,300	112.8	582,500	94.8
รวม	433,800	546.5	8,190,000	1,170	6,310,000	913.0
2532						
AC/DC<37.5 W	NA	NA	27,780,000	678.9	12,020,000	1,140
AC/DC>37.5 W	NA	NA	329,200	59.3	1,200,000	431.2
AC single-phase	NA	NA	569,300	190.3	40,800	22.7
AC multi-phase	NA	NA	433,500	593.9	33,400	8.3
DC motors	NA	NA	2,210,000	1.13	4,177	2.2
รวม	469,740	593.9	31,320,000	2,700	13,300,000	1,600
2533						
AC/DC<37.5 W	NA	NA	37,820,000	1,110	18,390,000	1,690
AC/DC>37.5 W	NA	NA	297,500	64.6	963,00	323.5
AC single-phase	NA	NA	1,600,000	396.0	27926	15.6
AC multi-phase	NA	NA	950,500	672.3	646,200	34.38
DC motor	NA	NA	2,900,000	324.3	82,400	20.1
รวม	1.20	868.1	43,560,000	2,560	20,110,000	2,090
2534						
AC/DC<37.5 W	NA	NA	45,920,000	1,690	22,140,000	2,100
AC/DC>37.5 W	NA	NA	1,330,000	167.9	3,130,000	526.3
AC single-phase	NA	NA	1,950,000	225.3	36,994	13.5
AC multi-phase	NA	NA	723,330	816.9	1,710,000	67.91
DC motors	NA	NA	3,980,000	905.9	1,210,000	49.4
รวม	986,021	1,020	53,900,000	3,810	28,560,000	2,760
2535						
AC/DC<37.5 W	NA	NA	47,240,000	2,000	27,900,000	2,370
AC/DC>37.5 W	NA	NA	975,900	117	9,850,000	701.5
AC single-phase	NA	NA	808,000	207.7	109,100	46.2
AC multi-phase	NA	NA	273,900	611.3	2,370,000	104.6
DC motors	NA	NA	1,810,000	496.5	4,030,000	139.0
รวม	NA	NA	51.1	3,430	44,250,000	3,360
2536						
AC/DC<37.5 W	NA	NA	45,870,000	2,641	40,820,000	3,240
AC/DC>37.5 W	NA	NA	801.669	151.4	17,550,000	266.7
AC single-phase	NA	NA	1,040,000	385.3	227,700	93.1
AC multi-phase	NA	NA	732,900	727.6	7,170,000	370.9
DC motors	NA	NA	2,340,000	649.8	5.57	238.1
รวม	NA	NA	50,780,000	4,550	71,340,000	4,210

หมายเหตุ: NA = ไม่มีข้อมูล

ที่มา: เอกสาร [6]

ตารางที่ 10 ปริมาณการส่งออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวในปี 2539

ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)	ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
อาหรับอิมิเรต	16	21,497	คูเวต	1,795	751,911
อาร์เจนตินา	19	8,594	ลาว	141	718,699
ออสเตรเลีย	1986	1,364,159	เลบานอน	73	35,225
บังคลาเทศ	50	37,605	ศรีลังกา	135	132,370
เบลเยียม	43,342	107,917,440	โมรอคโค	59	40,714
บัลกาเรีย	3	2,570	พม่า	5	4,149
เบนิน	2	10,072	มอลตา	5	5,736
ไอวอรี โคต	25	29,178	มอริตัส	5	1,272
จีน	43,044	2,543,512	มาเลเซีย	29,095	6,856,475
ไซปรัส	2,509	1,653,625	เนเธอร์แลนด์	13	14,566
เยอรมัน	138	85,845	นิวซีแลนด์	1	2,277
อียิปต์	23,125	12,743,576	โอมาน	2,200	918,294
สเปน	1,500	1,009,339	ฟิลิปปินส์	22,841	7,519,584
ฝรั่งเศส	22,638	1,682,008	ซาอุดิอาราเบีย	10	9,030
อังกฤษ	115	99,402	ซูดาน	30	81,185
ฮ่องกง	513,137	43,753,287	สวีเดน	322	841,282
ฮอนดูรัส	27	26,703	สิงคโปร์	2,970	1,589,373
อินโดนีเซีย	180	134,694	ตุรกี	410	11,012
อินเดีย	4,420	2,647,127	ไต้หวัน	1,000	246,960
อิตาลี	401	472,265	อเมริกา	29,017	14,814,751
ญี่ปุ่น	1,744,903	73,328,797	เวียตนาม	367	264,116
กัมพูชา	1	10,184	อัฟริกาใต้	98	68,024
เกาหลีใต้	2	12,715	รวม	2,492,179	284,525,235

ที่มา: กรมศุลกากร

ตารางที่ 11 ปริมาณการนำเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวในปี 2539

ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)	ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
เบลเยียม	1	6,034	อิสราเอล	50	2,533,000
บัลกาเรีย	910	1,524,412	อินเดีย	15,357	1,307,308
บราซิล	1,728	718,980	อิตาลี	2,839	9,169,382
สวีเดน	8	358,507	ญี่ปุ่น	127,334	54,575,125
จีน	167,170	75,866,940	เกาหลีใต้	187,689	48,931,248
สาธารณรัฐเชค	750	1,298,515	มาเลเซีย	177,742	100,035,400
เยอรมัน	659	6,548,078	เนเธอร์แลนด์	42	291,472
เดนมาร์ก	4	57,248	นอร์เวย์	25	167,586
เอกควาดอร์	1	774	นิวซีแลนด์	6	7,343
สเปน	4	189,326	โรมาเนีย	940	1,319,134
ฟินแลนด์	27	2,127,489	สวีเดน	20	58,188
ฝรั่งเศส	1,944	5,472,520	สิงคโปร์	551,361	170,195,234
อังกฤษ	130	1,214,249	ไต้หวัน	185,415	59,385,420
ฮ่องกง	1,785	995,638	อเมริกา	7,860	35,082,778
อินโดนีเซีย	12,200	733,151	รวม	1,444,001	580,170,479

ที่มา: กรมศุลกากร

ตารางที่ 12 ปริมาณการส่งออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกไม่เกิน 750 วัตต์ ปี 2539

ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)	ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
เบลเยียม	25,340	9,335,428	กัมพูชา	19	80,040
เบนิน	11	13,238	ลาว	48	1,453,855
คองโก	4	2,475	โมรอคโค	15	16,218
จีน	4,200	108,250	พม่า	1	33,985
เยอรมัน	1	119,585	มาเลเซีย	10,019	5,554,721
เดนมาร์ก	1	218,497	ฟิลิปปินส์	6,593	4,052,610
อียิปต์	3,520	1,295,326	ซูดาน	840	344,976
ฮ่องกง	84	105,756	สิงคโปร์	711	604,411
อินโดนีเซีย	15,502	8,585,834	ไต้หวัน	4,426	766,938
อินเดีย	1,200	132,453	อเมริกา	31	868,859
ญี่ปุ่น	105,044	69,904,174	เวียดนาม	1	58,984
			รวม	177,611	103,656,613

ที่มา : กรมศุลกากร

ตารางที่ 13 ปริมาณการนำเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกไม่เกิน 750 วัตต์ ปี 2539

ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)	ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
อาร์เจนตินา	3	12,159	อิสราเอล	44	261,363
ออสเตรีย	156	1,528,866	อินเดีย	170	174,939
ออสเตรเลีย	6,207	3,662,369	อิตาลี	5,815	39,024,036
เบลเยียม	360	775,743	ญี่ปุ่น	174,837	87,428781
บัลกาเรีย	80	55,704	เกาหลีใต้	351,186	69,028,682
บราซิล	55	105,270	ลักแซมเบิร์ก	6	169,217
แคนาดา	176	516,097	เม็กซิโก	200	8,527
สวิสเซอร์แลนด์	283	4,669,055	มาเลเซีย	321,930	65,286,790
จีน	1,087,759	61,745,779	เนเธอร์แลนด์	277	1,469,329
คอสตา	1	38,832	นอร์เวย์	44	179,510
เชคโกสโลวาเกีย	177	190,980	นิวซีแลนด์	6	2,085
เยอรมัน	6,038	55,124,494	ฟิลิปปินส์	10	356
เดนมาร์ก	435	2,131,532	รัสเซีย	56	55,080
โดมินิกา	5	64,508	โซโลมอน	4	9,861
สเปน	219	580,456	สวีเดน	1,302	5,164,589
ฟินแลนด์	234	8,134,866	สิงคโปร์	2,307,708	78,380,855
ฝรั่งเศส	891	9,891,639	สโลเวเนีย	25	551
อังกฤษ	3,588	19,173,494	ตุรกี	670	608,826
ฮ่องกง	38,621	981,551	ไต้หวัน	120,000	33,927,139
ฮังการี	76	388,646	อเมริกา	6,973	47,696,351
อินโดนีเซีย	141,873	44,465,920	อัฟริกาใต้	2	1,492
ไอร์แลนด์	1	5,512	รวม	4,578,503	643,121,831

ที่มา: กรมศุลกากร

ตารางที่ 14 ปริมาณการส่งออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ที่มีกำลังออกมากกว่า 750 วัตต์แต่ไม่เกิน 75 กิโลวัตต์ ในปี 2539

ประเทศ	ปริมาณ (จำนวน)	มูลค่า (บาท)
ออสเตรเลีย	1,008	755,160
เยอรมัน	7	58,186
ญี่ปุ่น	16	277,035
เกาหลี	28	216,155
ลาว	13	828,392
มาเลเซีย	3	26,574
ฟิลิปปินส์	59	1,143,103
สิงค์โปร์	54	180,580
ไต้หวัน	20	48,534
รวม	1,208	3,533,719

ที่มา: กรมศุลกากร

ตารางที่ 15 ปริมาณการนำเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกมากกว่า 750 วัตต์ แต่ไม่เกิน 75 กิโลวัตต์ ในปี 2539

ประเทศ	จำนวน (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)	ประเทศ	จำนวน (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
ออสเตรีย	376	11,081,924	อินเดีย	7,721	13,266,976
ออสเตรเลีย	1,552	15,863,632	อิตาลี	1,202	24,981,229
เบลเยียม	507	2,529,727	ญี่ปุ่น	4,419	70,003,176
บัลกาเรีย	422	1,751,008	เกาหลีใต้	415	3,876,366
แคนาดา	2	107,532	มาเลเซีย	575	5,294,901
สวิตเซอร์แลนด์	332	5,405,071	เนเธอร์แลนด์	14	600,908
จีน	5,597	26,670,273	นอร์เวย์	1	49,637
เชคโกสโลวาเกีย	8,783	3,244,407	นิวซีแลนด์	1	500
เยอรมัน	33,266	139,747,193	โปแลนด์	3,439	31,185,866
เดนมาร์ก	799	4,136,925	โรมาเนีย	25	420,385
สเปน	61	523,653	รัสเซีย	3,844	15,882,693
ฟินแลนด์	331	20,255,229	สวีเดน	2,030	35,486,169
ฝรั่งเศส	2,738	51,838,644	สิงค์โปร์	24,385	67,317,165
กินี	1	21,581,397	ตุรกี	3,294	13,297,683
ฮ่องกง	585	10,528,865	อเมริกา	1,886	24,390,366
ฮังการี	59	578,621			
อินโดนีเซีย	868	2,273,78	รวม	127,112	736,512,122

ที่มา: กรมศุลกากร

ตารางที่ 16 ปริมาณการส่งออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกมากกว่า 75 กิโลวัตต์ปี 2539

ประเทศ	ปริมาณ (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
จีน	210	1,340,466
เยอรมัน	1	140,399
ฮ่องกง	40	57,638
ญี่ปุ่น	1	236
ลาว	4	460,000
ฟิลิปปินส์	2	162,432
สวีเดน	1	174,562
สิงคโปร์	1	30,204
รวม	260	2,365,937

ที่มา: กรมศุลกากร

ตารางที่ 17 ปริมาณการนำเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีกำลังออกมากกว่า 75 กิโลวัตต์ปี 2539

ประเทศ	ปริมาณ(เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
ออสเตรีย	8	366,313
ออสเตรเลีย	196	14,851,492
เบลเยียม	1	368,107
จีน	358	22,443,914
เยอรมัน	227	37,638,348
เดนมาร์ก	3	334,198
ฟินแลนด์	17,062	80,576,952
ฝรั่งเศส	29	3,778,587
อังกฤษ	30	7,664,517
อินเดีย	6	339,765
อิตาลี	13	3,282,673
ญี่ปุ่น	135	14,755,494
เกาหลี	18	18,645,461
มาเลเซีย	3	285,496
เนเธอร์แลนด์	4	38,495
โปแลนด์	11	1,721,754
โรมาเนีย	41	2,069,297
รัสเซีย	2	202,425
สวีเดน	81	1,534,525
สิงคโปร์	104,040	2,064,986
ไต้หวัน	47	19,314,374
อเมริกา	2,987	18,132,663
รวม	125,302	250,409,836

ที่มา: กรมศุลกากร

3. มอเตอร์

3.1 ค่าความสูญเสียในมอเตอร์

ค่าความสูญเสียต่างๆ ในมอเตอร์ เกิดจากโครงสร้างทางไฟฟ้า ทางกล และการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าดังต่อไปนี้

1. ค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์ (stator losses) จะอยู่ในรูปของความร้อนเกิดจากกระแสไหลที่ผ่านของขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน (I^2R)
2. ค่าความสูญเสียที่แกนเหล็ก (core losses) เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ไหลอยู่ในแกนเหล็ก (hysteresis losses) รวมทั้งความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (eddy current losses)
3. ความสูญเสียที่โรเตอร์ (rotor losses) อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์แต่เกิดที่ขดลวดในโรเตอร์
4. ค่าความสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน (windage and friction losses) เกิดจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืนและแรงต้านของครีบระบายอากาศที่ตัวมอเตอร์ โดยรวมแล้วการสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน เป็นค่าสูญเสียที่มีค่าคงที่และไม่ขึ้นกับโหลดของมอเตอร์เรียกโดยรวมว่า “ค่าความสูญเสียขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด” (no-load losses)
5. ค่าการสูญเสียจากภาระการใช้งาน (stray losses) เป็นผลจากค่าความสูญเสียที่เกิดจากความถี่ในแกนเหล็กที่โรเตอร์ ค่ากระแสไหลวนในขดลวดที่สเตเตอร์ ค่าความสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์โมนิกในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มีโหลด ค่าสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดจากกระแสโหลด ซึ่งการสูญเสียที่สเตเตอร์ โรเตอร์ และจากภาระการใช้งาน จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของโหลด เรียกโดยรวมว่า “ค่าความสูญเสียขณะมีโหลด”

ค่าความสูญเสียที่กล่าวมาแล้ว สามารถแบ่งแยกตามลักษณะการทำงานของมอเตอร์ได้อีกแบบหนึ่งดังนี้

1. ค่าความสูญเสียขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด (no-load losses) ประกอบด้วยค่าความสูญเสียจากแกนแม่เหล็ก และค่าความสูญเสียทางกล
2. ค่าความสูญเสียขณะมอเตอร์มีโหลด (load losses) ประกอบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์ ค่าความสูญเสียที่โรเตอร์และค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งาน

3.2 การปรับปรุงและออกแบบ

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมีการออกแบบที่ปรับปรุงให้มีความสูญเสียจากส่วนต่าง ๆลดลง โดยปรับปรุงคุณภาพจากจุดต่าง ๆดังนี้

1. ปรับปรุงคุณภาพของแกนเหล็ก มอเตอร์ธรรมดาทั่ว ๆไปใช้เหล็กแผ่นที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำ (low carbon laminated steel) สำหรับตัวแกนเหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ซึ่งแกนเหล็กดังกล่าวมีค่าความสูญเสียสูง แต่ในมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะใช้แผ่นเหล็กซิลิคอนคุณภาพสูง (high grade silicon steel) ซึ่งมีค่าความสูญเสียลดลงถึงครึ่งหนึ่ง
2. ใช้แผ่นเหล็กที่บางกว่า การลดความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็กทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์ จะช่วยลดการสูญเสียจากกระแสไหลวน (eddy current loss)
3. ลดช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ การลดช่องอากาศที่เป็นทางเดินของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์ไปยังโรเตอร์ จะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านช่องอากาศมาถึงโรเตอร์มีความเข้มสูงขึ้น ลดปริมาณสนามแม่เหล็กรั่ว ทำให้มอเตอร์กินพลังงานไฟฟ้าลดลง เพื่อผลิตแรงบิดเท่าเดิมและยังลดความสูญเสียจากภาระการใช้งานด้วย
4. เพิ่มปริมาณของตัวนำ ในมอเตอร์รุ่นธรรมดาจะใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดพอดีกับกระแสสูงสุดที่เกิดจากโหลดของมอเตอร์ แต่ในมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะใช้ลวดทองแดงที่สเตเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดความต้านทานในขดลวด โดยขนาดของตัวนำจะใหญ่กว่าประมาณร้อยละ 35 ถึง 40 ส่วนในโรเตอร์จะมีการออกแบบให้ตัวนำในโรเตอร์ และวงแหวนปิดหัวท้ายมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดความต้านทานเช่นกัน
5. ออกแบบร่องสล็อตใหม่และทำให้แกนเหล็กที่สเตเตอร์ยาวขึ้น เพื่อที่จะรองรับลวดทองแดงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ต้องออกแบบร่องสล็อตใหม่ และขยายความยาวของแกนเหล็กออกไป เพื่อรองรับและลดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก ซึ่งแกนเหล็กที่ยาวขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ส่งผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และยังเป็นผลต่อตัวประกอบกำลัง (power factor) ที่ดีขึ้นด้วย
6. ออกแบบรูปร่างของพัดลมระบายความร้อนใหม่ การออกแบบพัดลมใหม่จะทำให้ช่วยลดแรงเสียดทานและเพิ่มอัตราการไหลของลมให้ระบายความร้อนได้ดีขึ้น
7. ใช้ตลับลูกปืนที่ดีขึ้น เพื่อให้แรงเสียดทานน้อยลง ลดการสูญเสียทางกลจากแรงเสียดทาน

จากการการปรับปรุงการออกแบบ ทำให้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ธรรมดาร้อยละ 2-4 ในมอเตอร์ขนาดใหญ่ และร้อยละ 4-7 ในมอเตอร์ขนาดที่ต่ำกว่า 5.5 กิโลวัตต์ (7.37 แรงม้า) มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงส่วนใหญ่เหมาะสมที่จะใช้ในเครื่องจักรธรรมดา ๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น พัดลมแบบต่าง ๆ ปั๊มหอยโข่ง เครื่องอัดอากาศ

3.3 การวัดประสิทธิภาพ

การวัดหาประสิทธิภาพทำได้โดยนำค่ากำลังงานขาออกหารด้วยค่ากำลังงานขาเข้า ซึ่งวิธีการหากำลังงานขาเข้าและขาออกนั้น มีด้วยกันหลายวิธี สามารถแบ่งออกเป็นวิธีการหลักๆได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การวัดกำลังงานที่ขาออกโดยตรง (direct measurement of output)
2. การหาค่าความสูญเสียโดยไม่ใช้การวัดโดยตรง (determination of losses without output measurement)

วิธีการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ มีหลายสถาบันที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันโดยทั่วไปได้แก่

1. Institute of Electrical and Electronics Engineer,Inc.: IEEE 112
2. International Electrotechnical Commission: IEC 34-2
3. Japanese Electrotechnical Committee: JEC 37
4. British Standard: BS 269
5. Canadian Standards Association: CSA C-390
6. American Standards Association Incorporated: ANSI C50-20

เนื่องจากค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับการคิดค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งาน CSA และ IEEE-112 Test method B คิดค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งานจากการคำนวณจากค่าที่วัดได้ IEC คิดค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งาน โดยให้มีค่าคงที่เท่ากับร้อยละ 0.5 ของพลังงานขาเข้า ส่วน JEC ไม่คิดค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งาน ทำให้ผลการคิดค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จากแต่ละสถาบันไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาดเดียวกันจากสถาบันต่างๆ

สถาบัน	ประสิทธิภาพที่พิกัดกำลัง (%)	
	7.5 แรงม้า	20 แรงม้า
CSA C-390	80.3	86.9
IEEE 112, Test Method B	80.3	86.9
IEC 34-2	82.3	89.4
BS 269	82.3	89.4
JEC 37	85.0	90.4

ที่มา: NEMA

4. ผลกระทบของมอเตอร์ต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของมอเตอร์ต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 19) สามารถแบ่งผลกระทบหลักได้เป็น 2 ระยะ คือ ในระหว่างการผลิต และในระหว่างการใช้งาน

ตารางที่ 19 ผลกระทบเบื้องต้นของมอเตอร์ต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อทางสิ่งแวดล้อม (environmental aspect)	วัฏจักรชีวิตของมอเตอร์				
	ก่อนผลิต	ขณะผลิต	ขณะขนส่ง	ขณะใช้	ทิ้งหลังใช้
การใช้ทรัพยากร (resource use) เช่น วัตถุดิบ พลังงาน น้ำ	○	○[1]	○[6]	●[10]	×
การเกิดวัตถุอันตราย (hazardous substance)	○	○[2]	○[7]	×	×
การปล่อยมลสารไปสู่ (emission/release of pollutant into)					
- อากาศ	○	●[3]*	○[8]	×	×
- น้ำ	○	●[4]*	×	×	×
- ดิน	○	×	×	×	×
ขยะมูลฝอย/ของเสีย (waste)	○	●[5]*	○[9]	×	○[13]
ผลกระทบอื่นๆ (other impacts)	○	○	○	○[11]	×
ความเหมาะสมสำหรับการใช้ (fitness for use)				●	×
ความปลอดภัย (safety)				●[12]	×

หมายเหตุ ● มีผลกระทบ ต้องพิจารณาในการออกข้อกำหนด

○ มีผลกระทบ แต่ไม่รวมอยู่ในข้อกำหนด

× ไม่เกี่ยวข้อง

* มีข้อบังคับตามกฎหมายเช่น พระราชบัญญัติโรงงาน

1) ไฟฟ้า น้ำมัน เหล็ก

2) สีวาร์นิช

3) ควัน เขม่า ที่เกิดจากการเชื่อม
กลิ่นระเหยของวาร์นิชในการชุบ
คอยล์ ไอของอะลูมิเนียม

4) น้ำหล่อเย็น

5) กากสี คราบวาร์นิช

6) น้ำมัน

7) NOx, SOx

8) CO_2, CO

9) บรรจุภัณฑ์

10) พลังงานไฟฟ้า

11) เสียง ความร้อน

12) การต่อลงดิน การต่อสายไฟ

13) ส่วนใหญ่นำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่ ได้ยกเว้นเชือกและฉนวนไมรา

4.1 ในระหว่างการผลิต

ในระหว่างการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้า มีการใช้วัตถุดิบ เช่น เหล็ก ทองแดง และใช้พลังงานไฟฟ้า ส่วนการเชื่อมจะมีควันและเขม่าเกิดขึ้น เกิดไอระเหยของอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังมีการระเหยของสีพ่นและวาร์นิชซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง เนื่องจากมักผสมวาร์นิชกับโทลูอีน ก่อนการชุบคอยล์ ในการผลิตยังก่อให้เกิดน้ำเสียและกากของแข็ง เช่น กากสีและคราบวาร์นิชที่พอกเยิ้มออกมา ซึ่งควรนำไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

4.2 ในระหว่างการใช้งาน

มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นปัจจัยหลัก อาทิเช่น ทรัพยากรพลังงานเชื้อเพลิง ทรัพยากรน้ำและอากาศ ดิน และทรัพยากรมนุษย์ และมีก๊าซและสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตเกิดขึ้น อาทิ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า ก๊าซและธาตุ ไอน้ำ เสียง กาก ขี้เถ้า น้ำทิ้ง โลหะหนัก ซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการควบคุมและป้องกันที่เหมาะสมแล้วจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน เกิดปัญหามลพิษทางน้ำและอากาศ ตลอดจนการหมดสิ้นไปของทรัพยากรพลังงานธรรมชาติในที่สุด

ในปี 2539 ประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าน้ำมันดิบรวมทั้งสิ้น 19,230 พันตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2538 ร้อยละ 15 โดยแยกตามชนิดการใช้เชื้อเพลิง ดังนี้

1) ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติรวมทั้งสิ้น 347,589.3 ล้านลูกบาศก์ฟุต หรือเฉลี่ย 952.3 ลูกบาศก์ฟุตต่อวัน เพิ่มจากปี 2538 ร้อยละ 13.3 เป็นสัดส่วนร้อยละ 43.8 ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ ซึ่งเป็นสัดส่วนของภาครัฐร้อยละ 65.7 ภาคเอกชนร้อยละ 34.3
2) ปริมาณการใช้น้ำมันเตารวมทั้งสิ้น 5,072.9 ล้านลิตร หรือเฉลี่ย 13.9 ล้านลิตรต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปี 2538 ร้อยละ 3.7 เป็นสัดส่วนร้อยละ 24.8 ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ โดยเป็นสัดส่วนของภาครัฐร้อยละ 99.9 ภาคเอกชนร้อยละ 0.1
3) ปริมาณการใช้ถ่านหินนำเข้าและลิกไนต์รวมทั้งสิ้น 16,463.9 พันตัน หรือเฉลี่ย 45.1 พันตันต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปี 2538 ร้อยละ 21.1 เป็นสัดส่วนร้อยละ 21.3 ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ ซึ่งเป็นสัดส่วนของภาครัฐร้อยละ 99.6 ภาคเอกชนร้อยละ 0.4
4) ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลรวมทั้งสิ้น 1,325.6 ล้านลิตร หรือเฉลี่ย 3.6 ล้านลิตรต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปี 2538 ร้อยละ 74.3 เป็นสัดส่วนร้อยละ 6 ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ และเป็นการใช้ในภาครัฐทั้งหมด

การใช้เชื้อเพลิงในภาคการผลิตไฟฟ้านี้มีอัตราสูงเป็นอันดับสองรองจากภาคคมนาคมขนส่ง ส่งผลให้มลภาวะถูกปลดปล่อยสู่สภาพแวดล้อมในอัตราที่สูงด้วยเช่นกัน หนึ่งในสี่ของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ถูกปลดปล่อยออกจากภาคการผลิตไฟฟ้า นอกจากนั้นภาคการผลิตไฟฟ้ายังปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฝุ่น และเถ้าเป็นจำนวนมาก สืบเนื่องมาจากการใช้ถ่านหินและลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น ในปีพ.ศ. 2534 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยมาจากภาคการผลิตไฟฟ้ามีประมาณ 34,690 พันตัน หรือประมาณร้อยละ 36 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดหรือร้อยละ27 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศ หรือประมาณร้อยละ 8 เมื่อเปรียบเทียบกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในทวีปเอเชีย (ไม่รวมจีน) นอกจากนี้ภาคการผลิตไฟฟ้ายังปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกไซด์ของไนโตรเจนและมีเทนประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณการปล่อยทั่วประเทศ

การใช้เชื้อเพลิงในภาคการผลิตไฟฟ้าไม่เพียงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบไปยังระดับภูมิภาคและระดับโลกในที่สุดในแง่ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลก ซึ่งอาจจะไม่ส่งผลให้เห็นชัดทันตาในชั่วชีวิตนี้ แต่เมื่อสะสมมากขึ้น ผลต่าง ๆ คงสามารถจับต้องเป็นรูปธรรมได้ ฝนกรดเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ประเทศต่างๆ ในภูมิภาคให้ความสนใจ เนื่องจากฝนกรดสามารถแพร่กระจายข้ามขอบเขตประเทศได้โดยการพัดพาของอากาศ ปัญหาฝนกรดมักเป็นผลจากการผลิตไฟฟ้า เช่น การผลิตไฟฟ้าที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เนื่องจากโรงไฟฟ้าแห่งนี้ใช้ลิกไนต์ที่มีองค์ประกอบของกำมะถันเป็นเชื้อเพลิง

โรงไฟฟ้าแต่ละประเภทจะมีประเด็นสิ่งแวดล้อมที่ต้องได้รับการจัดการและควบคุมแตกต่างกันไป โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ และการกำจัดขยะหรือสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิต ในส่วนของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะเกี่ยวข้องกับการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้แรงดันของน้ำเป็นพลังงานในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ถึงแม้ว่าทรัพยากรน้ำจะเป็นทรัพยากรธรรมชาติหมุนเวียนไม่หมดสิ้นไปก็ตามแต่การก่อสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำนั้นก่อให้เกิดปัญหาขัดแย้งอย่างมากกับการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติหลายด้าน เช่น ทรัพยากรป่าไม้ การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัยและทำกินการเกษตรกรรม ทั้งนี้เนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องใช้พื้นที่ป่าบางส่วนเป็นอ่างเก็บน้ำ การก่อสร้างเขื่อนปิดกั้นลำน้ำที่เคยไหลตามธรรมชาติ เมื่อสภาพลำน้ำเปลี่ยนไป ระบบนิเวศวิทยาแหล่งน้ำย่อมเปลี่ยนไปด้วย คุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำและลำน้ำท้ายน้ำเปลี่ยนแปลงส่งผลให้สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำต้องเปลี่ยนแปลงวัฏจักรชีวิตเช่นเดียวกัน

การส่งกระแสไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังแหล่งผู้ใช้ไฟจำเป็นต้องส่งผ่านระบบไฟฟ้าแรงดันสูง ประเด็นสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งไฟฟ้าพลังสูงคือผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อระบบสื่อสารในบริเวณใกล้เคียง

<u>ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างและการผลิตไฟฟ้า</u>

- การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและในกระบวนการผลิตไฟฟ้า
- การหมดสิ้นไปของทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถทดแทนได้
- การเกิดของเสียจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

- การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศวิทยาของธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- การขัดแย้งในการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

- การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่การเกษตรสำหรับการสร้างเขื่อนและอ่างน้ำ
- การสูญเสียพื้นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า
- การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ
- ปัญหาขัดแย้งในการใช้ประโยชน์ทรัพยากรน้ำ
- ต้องอพยพโยกย้ายราษฎรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน

- การใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงธรรมชาติที่สิ้นเปลือง
- การควบคุมปริมาณการปลดปล่อยฝุ่นละออง เขม่า และก๊าซเสีย จากปล่องโรงไฟฟ้าสู่บรรยากาศ
- มลภาวะทางเสียง
- การปล่อยน้ำทิ้งและน้ำร้อนที่ระบายจากระบบหล่อเย็น
- การกำจัดขยะหรือสิ่งที่เหลือจากขบวนการผลิต

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากระบบส่งไฟฟ้าแรงสูง

- ผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อระบบสื่อสารและโทรคมนาคมในบริเวณใกล้เคียง
- ผลกระทบด้านทัศนียภาพของบริเวณที่สายส่งพาดผ่าน

ตารางที่ 20 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคงานต่างๆ[1)]

หน่วย: Gwh

ปี	บ้านเรือน	ชุมชน[2)]	อุตสาหกรรม[3)]	การเกษตร	อื่นๆ[4)]	รวม
2529	5,795.1	5,998.7	10,162.7	56.7	31.2	22,034.
2530	6,135.5	7,331.2	11,319.4	61.3	46.8	24,894.2
2531	6,253.5	8,847.6	12,951.8	67.4	132.4	28,252.7
2532	7,024.6	10,108.2	15,431.0	89.7	180.3	32,833.8
2533	8,087.6	11,982.8	17,928.0	96.2	247.6	38,342.2
2534	9,152.1	13,975.5	19,813.3	93.8	362.9	43,397.6
2535	10,258.8	18,049.1	20,406.1	117.6	472.1	49,303.7
2536	11,932.7	21,448.3	22,372.8	129.9	395.7	56,279.4
2537	12,893.8	20,116.6	28,920.1	95.7	484.2	62,510.4
2538	14,621.5	23,026.3	32,859.0	102.8	615.3	71,224.9
2539	16,047.4	25,782.4	34,645.3	124.4	754.8	77,354.3

ที่มา: EGAT, MEA PEA and POF. [9]

หมายเหตุ: 1) Excluding private generation for own use.

2) Including government and non-profit organizations.

3) Classified by TSIC code and including mining since 1992.

4) Temporary customers.

ตารางที่ 21 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ [1)]

หน่วย : Gwh

ประเภทของอุตสาหกรรม	ปี						
	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539
1. Food and Beverages	3,369.7	3,944.4	4,033.8	3,768.7	4,568.1	5,131.5	5,230.5
2. Textiles	3,927.8	4,356.8	4,584.5	4,33.2	5,509.4	5,723.8	5,780.4
3. Wood and Furniture	329.7	434.8	419.3	511.8	619.6	673.7	660.1
4. Paper	790.9	841.2	972.4	644.1	1,102.3	1,256.6	1,210.2
5. Chemical	2,777.0	3,051.8	3,442.5	3,973.5	4,782.2	5,306.2	5,656.7
6. Non-Metalic	2,535.2	2,494.7	2,279.5	3,442.8	4,429.6	5,034.4	5,765.7
7. Basic Metal	1,458.8	1,584.1	1,612.0	2,008.0	2,603.5	3,282.5	3,340.1
8. Fabricated Metal	2,115.8	2,872.9	2,347.8	2,823.0	4,278.6	5,225.4	5,824.4
9. Other [2)] (Unclassified)	623.1	232.6	714.3	867.7	1,026.8	1,224.9	1,177.2
รวม	17,928.0	19,813.3	20,406.1	22,372.8	28,920.1	32,859.0	34,645.3

ที่มา: EGAT, MEA and PEA [9]

หมายเหตุ: 1) Excluding private generation for own use

2) Including mining and quarrying

5. เอกสารอ้างอิง

[1] จรัส บุณยธรรมา. มอเตอร์ไฟฟ้า. วารสารสสท. ฉบับเทคโนโลยี มิ.ย.-ก.ค. 2536 ปีที่ 19 ฉบับที่ 109. หน้า 108-111.

[2] รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเฉพาะประเภท ปี 2527. กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงอุตสาหกรรม.

[3] มอเตอร์ไฟฟ้า. เอกสารประกอบการสัมมนา. 20มิถุนายน 40 โรงแรมโซนทวินทาวเวอร์ กรุงเทพ . หน้า 11-14.

[4] ภาวะธุรกิจและอุตสาหกรรม . พฤษภาคม 2535. หน่วยอุตสาหกรรม ฝ่ายวิชาการ ธนาคารแห่งประเทศไทย.

[5] สรุปภาวะธุรกิจ-อุตสาหกรรม 2538 และแนวโน้ม 2539. หน่วยอุตสาหกรรม ฝ่ายวิชาการ ธนาคารแห่งประเทศไทย. หน้า 338-340.

[6] Thailand's Energy-Efficiency Industry: Potential for Investment. 1995. International Institute for Energy Conservation. p. 31-36.

[7] พลิกโฉม...อุตสาหกรรมไทย โครงการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง. 2539. กองภาคอุตสาหกรรม สำนักงานการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

[8] The Environmental Vision of Industries. 1994. Industrial Structure Council Global Environment Committee. Ministry of International Trade and Industry. Japan. 247 p.

[9] รายงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี2539. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

[10] Electricity:Meeting Need With Least Environmental Impacts. 1995 .Thailand Environment Institute.